

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1165/91

(51) Int.Cl.⁶ : H01S 3/0979
H01S 3/08

(22) Anmeldetag: 11. 6.1991

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 1.1998

(45) Ausgabetag: 25. 9.1998

(56) Entgegenhaltungen:

EP 0011679A2 DE 3813951A1 WO 91/03086A1 US 3970963
US 4479225 US 4783789 US 4514850 EP 0410061A1
EP 0401064A1 DE 3810604A1 DE 3515679C1
W.J. WITTEMAN, THE CO2 LASER, S. 4-7 UND S. 127-133,
SPRINGER VERLAG 1987
U. HABICH ET AL., RESONATORS FOR COAXIAL SLOW-FLOW
CO2 LASERS, SPIE VOL. 1397, P. 383-386 (1990)

(73) Patentinhaber:

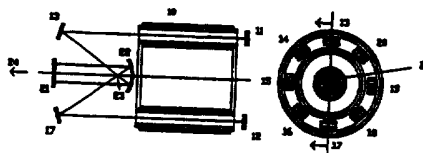
SCHRÖDER KURT DIPL.ING.
A-1030 WIEN (AT).
JARNOT MICHAEL DIPL.PHYS.
A-1030 WIEN (AT).
SCHÜCKER DIETER DIPL.ING. DR.
A-1030 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

SCHRÖDER KURT DR.
WIEN (AT).
JARNOT MICHAEL DIPL.PHYS.
HOHENRUPPERSDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).
SCHÜCKER DIETER DIPL.ING. DR.
WIEN (AT).

(54) OPTISCHER RESONATOR FÜR KOAXIALEN HOCHLEISTUNGSLASER

(57) Die Erfindung betrifft einen optischen Resonator für einen Gastransportlaser in einem Unterdruckbehälter mit koaxialem Elektrodensystem (10), bestehend aus einer zylinderförmigen inneren und äußeren Elektrode (3, 8), in dem sich mehrere Teilstrahlen parallel zur Achse des Systems ausbilden können und in einem gefalteten Strahlengang geführt werden, wobei die Teilstrahlen durch eine erste Umlenkvorrichtung auf eine Achse ausgerichtet, und durch eine zweite, weitere Umlenkvorrichtung in Achsen-nähe wieder parallelgerichtet werden, sodaß die Strahlen sich durch Beugung zu einem Strahl vereinigen können und die Strahlungsfelder in den einzelnen Teilstrecken phasen-starr koppeln, und der Strahl bzw. die Strahlen durch eine Auskoppeloptik (21 bzw. 11, 12) ausgekoppelt werden.



Die Erfindung betrifft einen optischen Resonator für einen Gastransportlaser in einem Unterdruckbehälter mit koaxialem Elektrodensystem (10), bestehend aus einer zylinderförmigen inneren und äußeren Elektrode (3, 8), in dem sich mehrere Teilstrahlen parallel zur Achse des Systems ausbilden können und in einem gefalteten Strahlengang geführt werden, wobei die Teilstrahlen durch eine erste Umlenkvorrichtung auf eine Achse ausgerichtet, und durch eine zweite, weitere Umlenkvorrichtung in Achsennähe wieder parallelgerichtet werden, sodaß die Strahlen sich durch Beugung zu einem Strahl vereinigen können und die Strahlungsfelder in den einzelnen Teilstrecken phasenstarr koppeln, und der Strahl bzw. die Strahlen durch eine Auskoppeloptik (21 bzw. 11, 12) ausgekoppelt werden.

Bei der Entwicklung von Hochleistungslasern geht der Trend zu immer höheren Strahlleistungen und zu immer kompakteren Bauweisen hin. Ein besonders vielversprechendes Konzept, das besonders bei CO₂-Lasern aussichtsreich erscheint, ist die Verwendung von koaxialen Systemen, bei denen die Anregung des Laserplasmas mittels hochfrequenter Energie über zwei koaxiale Elektroden erfolgt, die überdies durch ein Dielektrikum vom Plasma getrennt werden können (DE-A1-3 810 604 und WO-A1-91/03086). Durch diese Anordnung können auf kleinem Raum sehr hohe Leistungen eingekoppelt werden. Da der Querschnitt des Entladungsraumes relativ groß ist, kann ein sehr großes Gasvolumen pro Zeiteinheit durch das Elektrodensystem durchgepumpt werden, was eine effektive Kühlung zur Folge hat, wie dies bei Gastransportlasern erforderlich ist. Wenn der Gasstrom, nachdem er das koaxiale Elektrodensystem durchströmt hat, umgelenkt und z.B. an der Außenseite durch einen Wärmeaustauscher wieder zurückgeführt wird, ergibt sich darüberhinaus ein sehr geringer Druckverlust in der Strömung, sodaß die Umwälzpumpe für das Lasergas entlastet wird.

Das große Problem bei dieser Anordnung ist jedoch der optische Resonator, durch den die Wechselwirkung zwischen Plasma und Laserstrahlung hergestellt wird. Zur Erreichung eines gut fokussierbaren Laserstrahls wäre ein langes, schlankes und rotationssymmetrisches Plasma am vorteilhaftesten, wie dies beispielsweise beim schnell längsgeströmten Laser in idealer Form auch vorliegt (siehe z.B. W.J.Witteman, The CO₂-Laser, Springer Verlag 1987, insbesondere S. 4-7 und S. 127-133). Das koaxiale Plasma weicht jedoch sehr stark von diesem Ideal ab, sodaß hier neue Lösungswege gefunden werden müssen.

Da koaxiale Laser im Multi-Kilowattbereich noch lange nicht ausgereift sind, sondern derzeit erst im Entwicklungsstadium sind, gibt es noch keine Resonatoranordnungen, die sich bereits im praktischen Einsatz bewähren konnten und als Stand der Technik betrachtet werden können. Vor allem im Zusammenhang mit langsam geströmten Lasern gibt es jedoch hierzu verschiedene Vorschläge, die aber alle auch entscheidende Nachteile aufweisen. Ein Vergleich von verschiedenen Möglichkeiten wird beispielsweise von U.Habich et al. in SPIE Vol.1397, S. 383-386 (1990) angegeben. In einer dort beschriebene Anordnung (U.Habich et al., Fig. 2) wird etwa der hohlzylindrische Strahl unter Verwendung eines "W-Axicons" um 180° umgelenkt und gleichzeitig in seinem Querschnitt verringert, sodaß ein handhabbarer Laserstrahl entsteht. Eine ähnliche Möglichkeit wird in EP-A1-0 410 064 beschrieben, bei der ebenfalls durch zwei kegelförmige Spiegelflächen der Querschnitt eines hohlzylindrischen Strahls verringert wird. Beide Lösungen weisen den Nachteil auf, daß an der Spitze der inneren kegelförmigen Spiegelfläche bekannterweise extrem hohe Energiedichten auftreten (siehe etwa US-A-4 514 850), durch die bei Lasern höherer Leistung, wie bei der gegenständlichen Erfindung angestrebt, die Zerstörung dieser Fläche erfolgen würde. Eine weitere Möglichkeit nach U.Habich et. al. (Fig. 5) stellt ein sogenannter "Multipass-Resonator" dar, in dem der Strahl zwischen zwei kreis(ring)förmigen, planen, toroidalen oder sphärischen Spiegeln (siehe auch DE-C1-3 515 679, DE-A1-3 813 951 und WO-A1-91/03086) viele Male auf einem Zickzack-Weg hin und her reflektiert wird und dann schließlich durch einen teildurchlässigen Spiegel oder eine Öffnung ausgekoppelt wird. Resonatoren dieser Bauart sind verhältnismäßig gut zu justieren, liefern jedoch einen Laserstrahl, der sich nur relativ schlecht fokussieren läßt, dafür kann aber ein guter Wirkungsgrad erzielt werden.

Eine Lösungsmöglichkeit wird in der gegenständlichen Erfindung angeboten, die es einerseits ermöglicht, das vom Plasma angeregte Volumen gut auszunutzen und das andererseits einen rotationssymmetrischen Strahl erzeugt, was eine gute Strahlqualität in bezug auf die Materialbearbeitung erwarten läßt. Die Verwendung eines Parabolspiegels anstelle eines eine ähnliche Funktion erfüllenden Axicons bietet zusätzlich den Vorteil, daß hohe Energiedichten an kritischen Stellen der Spiegelflächen vermieden werden (etwa an der Spitze des kegelförmigen Spiegels (5) in Fig.1, EP-A1-0 401 064), sodaß höchste Laserleistungen gehandhabt werden können. Die diskreten Umlenkspiegel anstelle eines ringförmigen, kegelförmigen Spiegels (wie etwa der Spiegel (4, 40") in Fig.1, EP-A1-0 401 064) erlauben es, mechanische Verformungen, die bei großen Spiegeln zwangsläufig auftreten (etwa thermisch induziert), zu vermeiden. Es ergeben sich dabei insbesondere bei hohen Laserleistungen deutliche Vorteile gegenüber dem Stand der Technik. Außerdem können dadurch die hohen Herstellungskosten von großflächigen Laserspiegeln vermieden werden.

Bei der vorgeschlagenen Anordnung kann dazwischen gewählt werden, einen Einzelstrahl hoher Leistung oder mehrere untereinander kohärente Teilstrahlen auszukoppeln. Die letztere Option kann bei sehr hohen Leistungen von Vorteil sein, da konventionelle Auskoppelfenster (üblicherweise aus dem Halbleiter Zinkselenid gefertigt) bei sehr hohen Strahlleistungen nicht mehr verwendet werden können, 5 sodaß auf aerodynamische Fenster (dies bedeutet, daß der Unterdruckbehälter nicht durch einen Festkörper, sondern durch eine Überschallströmung dicht abgeschlossen wird) übergegangen werden muß, die einen erheblichen technischen Mehraufwand erfordern.

Die Überlagerung von mehreren Laserstrahlen zur Steigerung der Gesamtleistung am Werkstück ist zwar eine bekannte Vorgangsweise (siehe US-A-4 783 789), bei einer Fokussierung der Einzelstrahlen kann 10 aber nicht die Energiedichte erreicht werden, die ein einziger Strahl der Summenleistung liefern würde. Durch die gegenständliche Erfindung wird jedoch gewährleistet, daß die einzelnen Teilstrahlen untereinander kohärent sind, sodaß sie sich wie ein einzelner Laserstrahl der Summenleistung verhalten und demzufolge auch eine entsprechend hohe Energiedichte erzeugen können.

Der erfindungsgemäße Resonator besteht zunächst aus, an der einen Stirnseite des coaxialen Elektrodensystems angeordneten, auf die Strahlachsen normalstehenden Spiegeln, die die Teilstrahlen in sich selbst zurückwerfen. Auf der anderen Seite des Mediums befinden sich gegen die Strahlachse verkippte Spiegel, die die Teilstrahlen alle durch einen gemeinsamen Punkt auf der Symmetrieachse des Systems reflektieren. Ein auf diese Achse normalstehender Parabolspiegel richtet die Teilstrahlen alle parallel zur Symmetrieachse aus. In einem Abstand davon treffen die so vereinigten Strahlen auf einen weiteren Spiegel 20 auf, der den Strahl wieder in sich zurückwirft und den Rückkopplungsweg damit schließt. Die Strecke, auf der sich die Teilstrahlen eng nebeneinanderliegend ausbreiten, muß so ausgelegt werden, daß es aufgrund der Strahlaufweitung (dies ist eine Folge der Beugung) zu einer Überlagerung der Teilstrahlen zu einem einzigen, in sich kohärenten Strahl kommt, wobei diese Kopplung dann bis in das laseraktive Medium, wo die Teilstrahlen voneinander räumlich getrennt sind, zurückwirkt. Die Auskopplung der Laserstrahlung kann 25 entweder über den dem Parabolspiegel gegenüberliegenden Spiegel erfolgen, der dann teildurchlässig ausgeführt werden muß, oder über die Endspiegel, die dann in diesem zweiten Fall teildurchlässig ausgeführt werden müssen.

Damit die longitudinalen Moden der einzelnen Teilstrecken besser übereinstimmen, kann in an sich bekannter Weise eine Regelung der einzelnen Teilresonatorlängen über piezoelektrische Stellelemente und 30 einen elektronischen Regler vorgenommen werden.

Der Effekt der Strahlaufweitung kann verstärkt werden, wenn der Strahldurchmesser verkleinert wird, was in bekannter Weise durch ein Teleskop erreicht wird, das innerhalb des Resonators angeordnet ist, sodaß dann die Strecke, auf der die Teilstrahlen parallel laufen, verkürzt werden kann.

Auch durch eine geringfügige Verschiebung des Parabolspiegels in der Achse des Systems kann die 35 Divergenz der Teilstrahlen vergrößert werden, was ebenfalls eine Verkürzung der Strecke, auf der die Teilstrahlen eng nebeneinander laufen, möglich macht.

Da transmissive Optiken (Linsen, Fenster) im Resonator eines Hochleistungslasers der schwächste Punkt sind, kann es sinnvoll sein, jede Teilstrecke einzeln durch Brewsterfenster abzuschließen, sodaß die gesamte Laserleistung sich auf mehrere Fenster aufteilt. Durch die Erfindung ist es möglich auch in dieser 40 Situation, eine phasenmäßige Kopplung zwischen den Einzelstrahlen zu erhalten. Im Normalfall (keine Kopplung gemäß der Erfindung) würde es sich dann um voneinander unabhängige Strahlen handeln, sodaß dann diese Vorgangsweise nicht zielführend wäre.

Außerdem besteht noch die Möglichkeit, einige der Teilstrecken zunächst in der an sich bekannten Art zu falten (siehe EP-A2-0 011 679), um sie daraufhin gemäß der Erfindung über Umlenkspiegel und einen 45 Parabolspiegel zu koppeln.

Weitere Details der Erfindung ergeben sich anhand der Zeichnungen und der folgenden Beschreibungen.

- Fig.1** zeigt schematisch den Aufbau eines bekannten CO₂-Hochleistungs- Gastransportlasers in coaxialer Bauart (nach DE-A1 3 810 604).
- 50 **Fig.2** zeigt einen Resonator gemäß der Erfindung mit beispielsweise 8 Teilstrecken bei dem ein einzelner Strahl ausgekoppelt wird.
- Fig.3** zeigt denselben Resonator, von dem jedoch mehrere untereinander kohärente Laserstrahlen erzeugt werden.

Der prinzipielle Aufbau eines coaxialen CO₂-Gastransportlasers ist in **Fig.1** angegeben. Die eigentliche 55 Anregung des Lasergases erfolgt in einem hohlzylindrischen Volumen zwischen den beiden coaxialen Elektroden (3) und (8), die an einen Hochfrequenzgenerator angeschlossen sind, dessen Ausgangsleistung über das Dielektrikum (4) kapazitiv eingekoppelt wird. Das sich infolge der eingekoppelten elektrischen Leistung rasch aufheizende Plasma (7) muß sehr schnell ausgetauscht werden, damit es sich nicht

unzulässig stark erwärmen kann. Dies geschieht z.B. durch einen toroidalen Gasstrom, der durch ein Axialgebläse (1) angetrieben wird. Der Rückstrom des Gases erfolgt an der Außenseite des Elektrodensystems durch einen Wärmeaustauscher (2). Das auf diese Weise abgekühlte Lasergas wird daraufhin wieder in den Bereich zwischen den Elektroden zurückgeführt, sodaß sich ein geschlossener Gaskreislauf ergibt. Nur ein Teil des Lasergases wird laufend ersetzt, damit sich Verunreinigungen und chemische Reaktionsprodukte nicht unkontrolliert anhäufen können.

Aufgrund der Gasentladung zwischen den Elektroden (3) und (8) wird das Lasergas, im CO₂-Laser ein Gemisch aus CO₂, N₂ und He, in den Plasmazustand übergeführt und wirkt dann als verstärkendes Medium für Licht der Wellenlänge 10,6 µm. Durch die Resonatoranordnung, bestehend aus den Endspiegeln (9) und Auskoppelfenster (6), kann dann die Laserstrahlung (5) ausgekoppelt werden. Es muß dabei beachtet werden, daß das gesamte Medium genutzt werden muß, wenn ein guter Wirkungsgrad erreicht werden soll, sodaß die Spiegel, um den gesamten Umfang verteilt, eng nebeneinander angeordnet werden müssen. Es ergeben sich dann ebenso viele Einzelstrahlen, die im Normalfall in keinerlei Phasenbeziehung zueinander stehen, sodaß sich bei Fokussierung des Summenstrahls im Brennpunkt keine derart hohe Leistungsdichte ergibt, wie sie ein Einzelstrahl der Summenleistung mit einheitlicher Phasenfront liefern würde. Durch Verwendung von gefalteten Teilresonatoren kann die Anzahl der Einzelstrahlen reduziert werden, jedoch steigen im gleichen Maße die Probleme bei der Justierung des Systems. Die gegenständliche Erfindung bietet eine alternative Lösungsmöglichkeit, die die soeben beschriebenen Schwierigkeiten umgeht.

Bei einem Resonator entsprechend der gegenständlichen Erfindung werden nach Fig.2 an der einen Stirnseite des coaxialen Elektrodensystems (10) mehrere plane oder sphärische Spiegel angebracht, nach Fig.2 beispielsweise acht Stück: (11, 12), die die Teilstrahlen in sich selbst zurückreflektieren. Auf der anderen Seite des Mediums befinden sich ebenso viele totalreflektierende Spiegel (13, ..., 20), die in der Weise gegen die Strahlachse verkippt sind, daß sich alle Teilstrahlen in einem Punkt (23) auf der Symmetrieachse des Systems schneiden. Wahlweise kann der Strahl auch auf jeder Teilstrecke für sich gefaltet werden, sodaß der optische Weg zwischen einem Endspiegel der Teilstrecke (z.B. 11) und dem verkippten Spiegel (z.B. 13) vervielfacht wird. Der parabolische, totalreflektierende Spiegel (22) ist derart angeordnet, daß der Schnittpunkt der Teilstrahlen (23) gleichzeitig auch sein Brennpunkt ist, sodaß die Teilstrahlen durch ihn alle so umgelenkt werden, daß sie sich parallel zur Symmetrieachse ausbreiten. Der Endspiegel (21) reflektiert den so entstandenen Einzelstrahl in sich selbst zurück, womit die Rückkopplung geschlossen ist. Die Auskopplung der Laserstrahlung (24) erfolgt in der Anordnung nach Fig.2 durch den Endspiegel (21), der dann teildurchlässig sein muß. In der Variante nach Fig.3 erfolgt die Auskopplung von mehreren untereinander kohärenten Laserstrahlen (25, 26) durch die Endspiegel der Teilstrecken (11, 12), die dann zu Auskoppelspiegel werden, wobei dann der Endspiegel (21) totalreflektierend und die Auskoppelspiegel (11, 12) teildurchlässig sind. Eine dritte Möglichkeit ist ebenfalls eine Modifikation der Anordnung nach Fig.2 und besteht darin, daß an der den Endspiegeln der Teilstrecken (11, 12) gegenüberliegenden Seite des Elektrodensystems transmissive Fenster, vorzugsweise Brewsterfenster, die alle in dieselbe Richtung polarisieren, angeordnet werden, die das Vakuumgefäß abschließen, sodaß sich die Umlenkspiegel (13, ..., 20), der Parabolspiegel (22) und die Auskoppelloptik (21) außerhalb des Unterdruckbehälters befinden. Die Auskoppelloptik kann dann mittels Metallspiegel (instabiler Resonator) realisiert werden, was bei hohen Leistungen die Umgehung eines aerodynamischen Fensters ermöglicht.

Die Abstände zwischen den Spiegeln müssen dabei so ausgelegt werden, daß sich aufgrund von Beugung die Einzelstrahlen auf der Strecke zwischen dem Parabolspiegel (22) und dem Endspiegel (21) zu einem kohärenten Einzelstrahl mit definierter Phasenfront vereinigen. Die durch minimale Längendifferenzen zwischen den einzelnen Teilstrahlen verursachten verschiedenen longitudinalen Modenspektren können durch geringfügig verschiebbare (wenige µm) Endspiegel der Teilstrecken (11, 12) und/oder Umlenkspiegel (13, ..., 20) mittels piezoelektrischer Stellelemente ausgeglichen werden, wobei die Längen dann elektronisch geregelt werden müssen. Solche piezoelektrisch verstellbare Spiegel sind bei Gaslasern an sich bekannt.

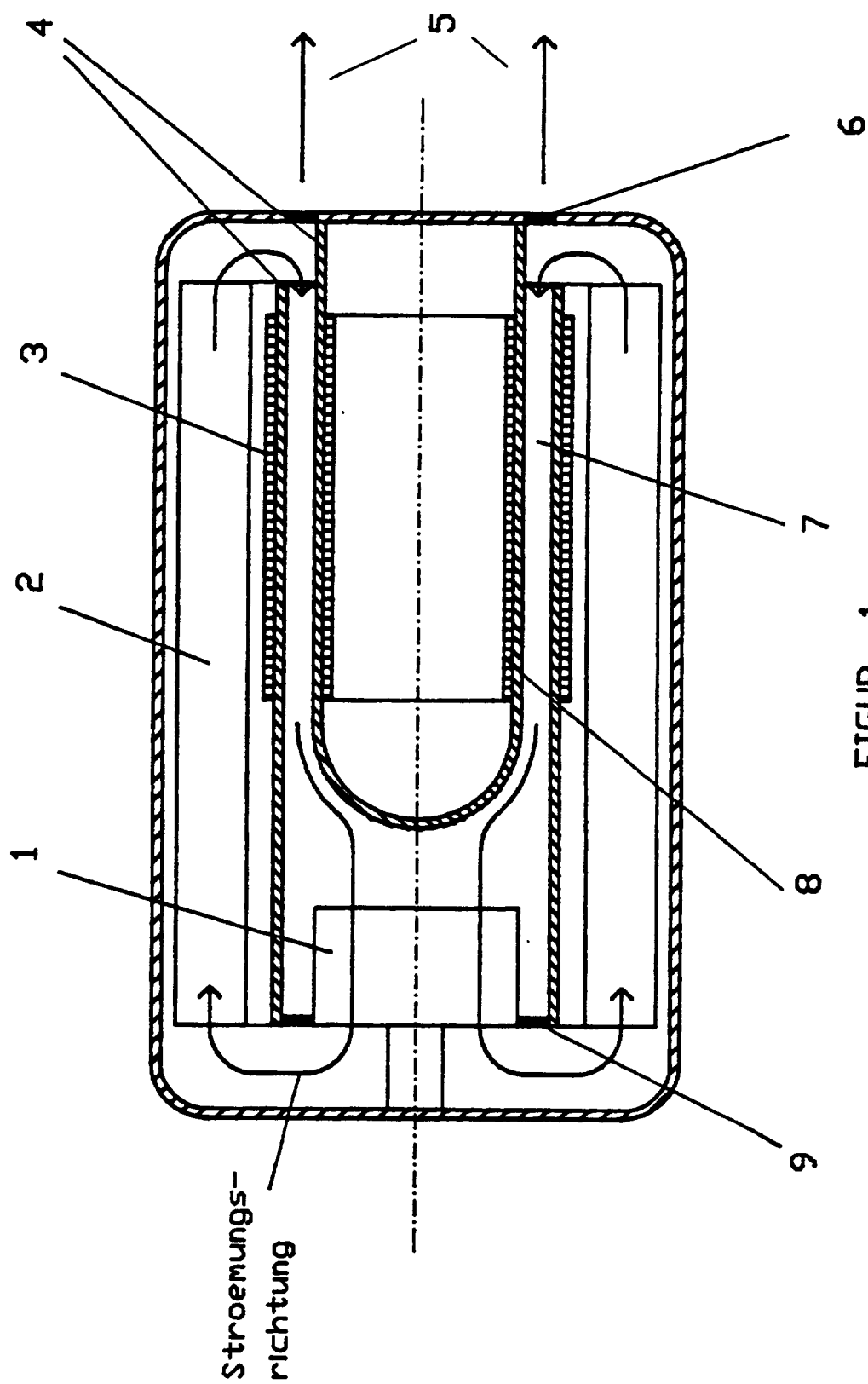
Die Spiegel (außer 22) können eben oder gekrümmt sein. Im letzteren Fall müssen die Krümmungsradien so gewählt werden, daß sich ein guter Strahlmodus (im Fernfeld nahe dem Grundmodus) ergibt, wobei der Resonator insgesamt als stabil oder als instabil ausgelegt werden kann. Insbesondere kann es bei sehr hohen Leistungen erforderlich werden, daß dort das Auskoppelfenster (21) nach Fig.2 durch ein aerodynamisches Fenster ersetzt wird.

Um die Vereinigung zu einem Einzelstrahl auf der Strecke zwischen dem Parabolspiegel (22) und dem Endspiegel (21) zu begünstigen, kann entweder eine geringfügige Verschiebung des Parabolspiegels (22) in der Achse erfolgen, oder es kann vorzugsweise ein Teleskop in den Strahlengang eingefügt werden. In beiden Fällen wird die Divergenz des Strahls vergrößert, was die Überlagerung und damit die Kopplung der Teilstrahlen begünstigt.

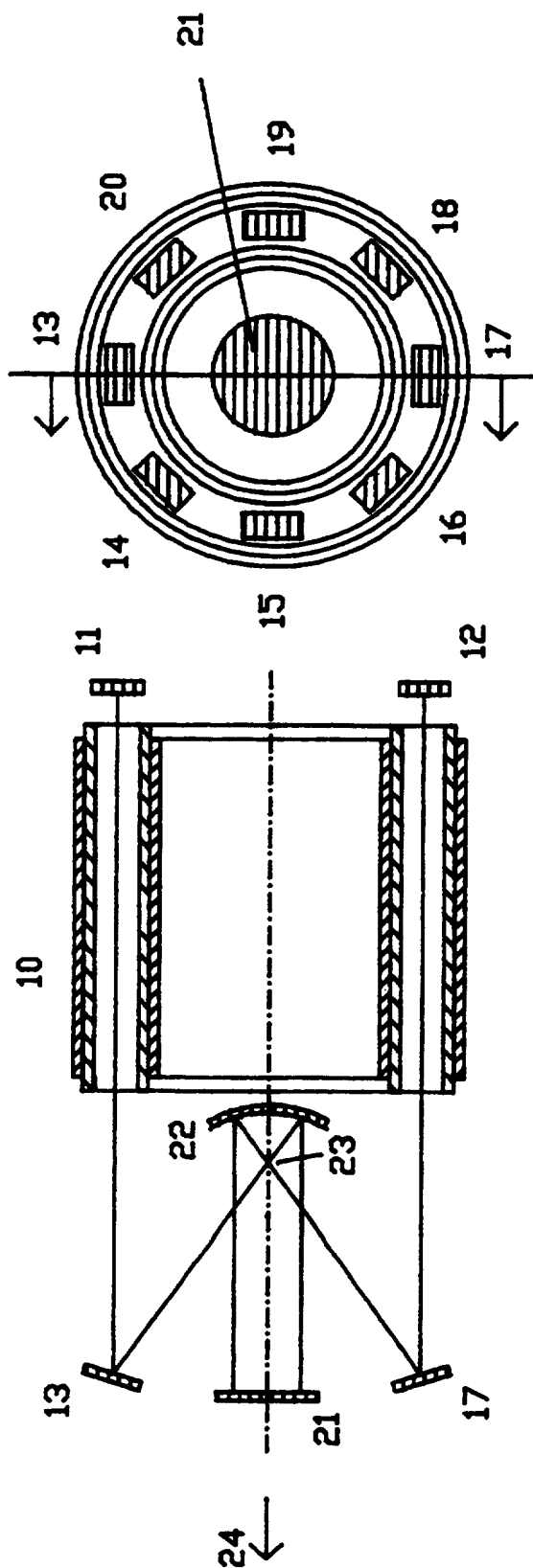
Patentansprüche

1. Optischer Resonator für einen Gastransportlaser in einem Unterdruckbehälter mit koaxialem Elektroden-
system (10), bestehend aus einer zylinderförmigen inneren und äußeren Elektrode (3, 8), in dem sich
5 mehrere Teilstrahlen parallel zur Achse des Systems ausbilden können und in einem gefalteten
Strahlengang geführt werden, wobei die Teilstrahlen durch eine erste Umlenkvorrichtung auf eine
Achse ausgerichtet, und durch eine zweite, weitere Umlenkvorrichtung in Achsennähe wieder parallel-
gerichtet werden, sodaß die Strahlen sich durch Beugung zu einem Strahl vereinigen können und die
Strahlungsfelder in den einzelnen Teilstrecken phasenstarr koppeln, und der Strahl bzw. die Strahlen
10 durch eine Auskoppeloptik (21 bzw. 11, 12) ausgekoppelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich
innerhalb des Resonators eine erste Umlenkvorrichtung, bestehend aus mehreren, diskreten Umlenks-
piegeln (13, ..., 20) und die zweite Umlenkvorrichtung, bestehend aus einem Parabolspiegel, befinden
und die Auskopplung der Laserstrahlung entweder über den gegenüber dem Parabolspiegel angeord-
neten Spiegel (21) oder über die Endspiegel der Teilstrecken (11, 12) erfolgt.
- 15 2. Optischer Resonator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in an sich bekannter Weise
piezoelektrische Stellelemente und eine elektronische Regelung verwendet werden, um minimale
Längendifferenzen der Teilstrecken zu kompensieren.
- 20 3. Optischer Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in
an sich bekannter Weise ein Teleskop zwischen dem Parabolspiegel (22) und dem Endspiegel (21)
eingesetzt wird, um die Strahldivergenz zu erhöhen und damit die Vereinigung der Teilstrahlen auf der
Strecke zwischen dem Endspiegel (21) und dem Parabolspiegel (22) zu verbessern, bzw. um den
Abstand zwischen dem Endspiegel (21) und dem Parabolspiegel (22) verkleinern zu können.
- 25 4. Optischer Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß
durch geringfügige Verschiebung des parabolischen Spiegels (22) in der Achse des Systems die
Strahldivergenz verändert und damit der Kopplungsgrad zwischen den Teilstrahlen beeinflusst werden
kann, womit sich die Strahlqualität (Divergenz, Fokussierbarkeit) verändert.
- 30 5. Optischer Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in
an sich bekannter Weise zum Abschluß des Vakuumgefäßes transmissive Fenster (z.B. Brewsterfen-
ster) an der den Endspiegeln (11, 12) gegenüberliegenden Seite des koaxialen Elektroden-systems
verwendet werden, und daß die Umlenkspiegel (13, ..., 20), der Parabolspiegel (22) und die Auskoppe-
35 loptik (21) außerhalb des Unterdruckbehälters angeordnet werden.
6. Optischer Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede
Teilstrecke für sich in an sich bekannter Weise zwischen dem Endspiegel (11, 12) und dem Umlenks-
40 piegel (13, 17) gefaltet wird.

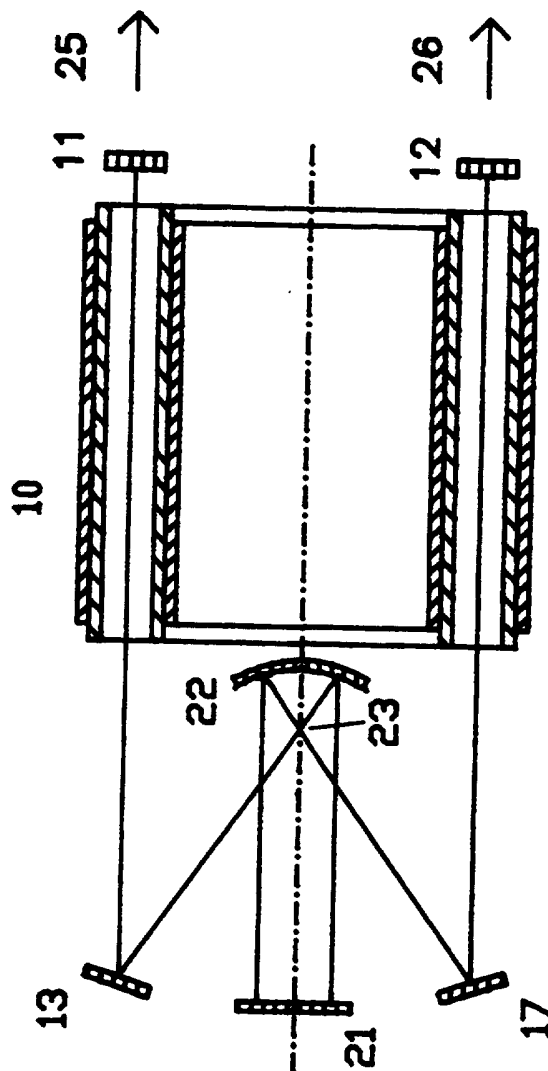
Hiezu 3 Blatt Zeichnungen



FIGUR 1



FIGUR 2



FIGUR 3